

Maria Andersson och Elin Sjökvist

RAPPORT NR 29

Dimensionerande havsvattennivåer vid Södra Värtan



Pärmbild.

Bild över Stockholm tagen från Skeppsbron. Bilden är hämtad ur SMHI:s bildarkiv.

Författare:

Maria Andersson, Elin Sjökvist

Uppdragsgivare:

Stockholms stad

Granskningsdatum:

2012-08-29

Granskare:

Mikael Magnusson

Dnr:

2012/659/9.5

Version:

1.0

2012-08-31

Sofia Åström

Dimensionerande havsvattennivåer vid Södra Värtan

Uppdragstagare

SMHI
601 76 Norrköping

Projektansvarig

Sofia Åström
031-751 8903
sofia.astrom@smhi.se

Uppdragsgivare

Exploateringskontoret Stockholms stad
Box 8189
104 20 Stockholm

Kontaktperson

Ingmarie Ahlberg
08-508 264 54
ingmarie.ahlberg@stockholm.se

Distribution

Stockholms stad

Klassificering

(x) Affärssekretess

Nyckelord

Havsvattenstånd, intensiv nederbörd, återkomsttider, våghöjd och uppstuvningseffekter

Övrigt

Innehållsförteckning

1	SAMMANFATTNING	1
2	BAKGRUND OCH SYFTE	2
2.1	Riktlinjer för dimensionering	2
2.2	Tidigare beräkningar	3
3	FAKTORER SOM PÅVERKAR VATTENSTÅNDET	3
3.1	Havsvattenståndsförändring till följd av global uppvärmning	4
3.1.1	Havshöjning i Stockholm och Sverige	5
3.2	Landhöjning	6
3.2.1	Årets beräknade medelvattenstånd och Rikets Höjdsystem	7
3.3	Kortvariga vattenståndsvariationer	8
3.3.1	Vindpåslag	9
4	METODIK	9
4.1	Medelvattenytans höjning.....	9
4.2	Karaktäristiska och extrema vattenstånd.....	9
4.2.1	Sannolikhet och risk.....	9
4.3	Våghöjd och uppstuvningseffekter	10
4.4	Extrema vattenstånd med 24 timmars varaktighet.....	11
4.5	Återkomsttider för intensiv nederbörd i kombination med höga vattenstånd ..	11
5	RESULTAT	11
5.1	Karaktäristiska vattenstånd och återkomsttider	11
5.1.1	Fortsatt havshöjning efter 2100	12
5.2	Våghöjd och uppstuvningseffekter - vindpåslag	12
5.3	Återkomsttider av vattenstånd med en varaktighet på 24 timmar	13
5.4	Återkomsttider för intensiv nederbörd i kombination med höga vattenstånd ..	14
5.4.1	Återkomsttider	14
5.4.2	Beroende mellan intensiv nederbörd och höga vattenstånd	15
5.4.3	Återkomsttider och osäkerheter	16
6	DISKUSSION	16
7	SLUTSATSER.....	16
8	REFERENSER	18

1 Sammanfattning

SMHI har på uppdrag av exploateringskontoret Stockholm stad tagit fram information om höga vattenstånd, i dagens och framtidens klimat i Södra Värtan. Även de vattennivåer som kan uppstå i kombination med vågor och vinduppstuvning har analyserats samt risken för att intensiv nederbörd inträffar vid höga vattenstånd har bedömts. Återkomsttider av vattenstånd med en varaktighet på minst 24 timmar har beräknats för dagens och framtidens klimat.

2011 sammanställdes och uppdaterades det arbete som gjorts av SMHI på uppdrag av Stockholm stad rörande havsnivåer, (SMHI Rapport 2011-62). Syftet med den rapporten var att redovisa de olika nivåer som SMHI tagit fram som underlag för beslut om dimensionering av anläggningar i Stockholm med livslängd på ca 100 år fram till 2110. Rapporten ger en helhetlig bild över det tillvägagångssätt som ligger till grund för beräkningarna. Denna rapport baseras på SMHI Rapport 2011-62.

För dimensionering av laster används BKR:s normer för vattenlaster som motsvarar vattenstånd med 50 års återkomsttid. För dimensionering av översvämningsskydd måste längre återkomsttider tillämpas.

Frågan om framtidens havsnivåer har blivit alltmer aktuell under de år som gått sedan IPCC presenterade sin fjärde Assessment Report (AR4) i januari 2007 (IPCC, 2007) och som utgick från den då tillgängliga klimatforskningen. AR4 angav 18-59 cm som ett intervall för höjningen av havsnivån, med regionala variationer. Sedan dess har flera vetenskapliga artiklar publicerats som betonar risken för att isavsmältningen kan komma att ske snabbare och att världshavet kan komma att stiga mer än vad som antagits.

SMHI:s syn har formulerats i en klimatanalys till länsstyrelsen i Stockholms län enligt följande: ”Sammantaget pekar de internationella sammanställningar och bedömningar, som SMHI tagit del av, på att en övre gräns för hur mycket havsytans nivå kan komma att stiga ungefär 1 m under perioden 1900-2100 sett som ett globalt medelvärde.”

För att ta fram dimensionerande nivåer för Stockholm stad 2100 har en global höjning på +1 m tillämpats för Stockholm med en korrektion för landhöjning. Extremvattenstånd från SMHI:s mätserie Stockholm-Skeppsholmen 1886-2011 har analyserats med statistiska verktyg för att ta fram nivåer med 5, 10, 50, 100, 200 och 300 års återkomsttider. För det framtida klimatet används samma mätdata, men med ett tillägg för stigande havsnivåer. De beräknade extrema vattenstånden visas i tabellen nedan i Rikets Höjdsystem RH2000 tillsammans med 90 % konfidensintervallet.

Återkomsttid (år)	Vst i RH2000 2012	Vst i RH2000 2100
5	84 cm 81-87	135 cm 132-138
10	92 cm 89-97	143 cm 140-148
50	109 cm 103-121	161 cm 154-172
100	116 cm 108-133	168 cm 159-184
200	123 cm 113-145	174 cm 164-196
300	127 cm 115-151	178 cm 166-203

Det högsta uppmätta vattenståndet i Stockholm är 129 cm i RH2000 (Tabell 5.1). Detta motsvarar ett vattenstånd med en återkomsttid på ungefär 300 år (se tabellen ovan). Den ökande osäkerheten i beräknade långa återkomsttider indikeras av det stora konfidensintervallet.

Ytterligare bidrag från lokala vindeffekter har beräknats till 0,5 m vilket huvudsakligen är från vindvågor då vinduppstuvning vid Södra Värtahamnen är försumbar. Detta vindpåslag bör också beaktas.

Havet upphör inte att stiga 2100. En enkel beräkning av höjningen 2100-2110 visar att det kan röra sig om ytterligare 5-25 cm beroende på global höjningstakt. Detta är av samma storleksordning som konfidensintervallet för extrema vattenstånd enligt BKR (Tabell 5.2).

Vattenståndet med 50 års återkomsttid och med en varaktighet på minst 24 timmar har beräknats till 131 cm år 2100 i RH2000. För 100 års återkomsttid och med en varaktighet på minst 24 timmar har vattenståndet beräknats till 136 cm år 2100 i RH2000 (Tabell 5.5).

Återkomsttiden på 30 år för nederbörd med varaktigheten 1 timme har beräknats till 33 mm (Tabell 5.6). Den högsta intensiteten som uppmäts under perioden är 37 mm (stycke 5.4.2). Ett tydligt samband mellan intensiv nederbörd och högt havsvattenstånd har inte funnits. De mest intensiva regnen har inträffat runt medelvattenstånd. Vädersituationen för intensiv nederbörd och höga havsvattenstånd ser generellt olika ut. Intensiv nederbörd inträffar vanligtvis sommartid i samband konvektiva åskväder medan höga vindhastigheter som påverkar havsvattenståndet förekommer under djupa lågtryck. Risken att intensiv nederbörd sammanfaller med ett extremt högt havsvattenstånd bedöms vara liten.

2 Bakgrund och syfte

Dagens och framtidens havsnivåer är av stor betydelse för Stockholms stad. Stigande havsnivåer kan leda till högre medelvattenstånd och ökade översvämningsrisker. Ett förhöjt medelvattenstånd har betydelse för tappningen från Mälaren och har beaktats i utredningar rörande tappningsstrategier (SMHI Rapport 2011-64). Ytterligare en aspekt vid de höga vattenstånden är att alla konstruktioner skall dimensioneras enligt erforderliga vattenlaster på konstruktioner.

SMHI har under flera år levererat uppdaterade beslutsunderlag rörande framtidens havsvattenstånd till Stockholm stad, till flera Stockholmskommuner och till Länsstyrelsen i Stockholms län. I SMHI Rapport 2011-62 uppdaterades och sammanfattades det arbete som gjorts på uppdrag av Stockholm stad. Den innehåller en beskrivning av tidigare resultat och hur resultatet skiljer sig från tidigare. Delar av denna rapport grundar i SMHI Rapport 2011-62 och skall användas som beslutsunderlag för fastställande av dimensionerande havsnivåer för den planerade bebyggelsen i Södra Värtan. Rapporten innefattar information om höga vattenstånd, i dagens och framtidens klimat, och de vattennivåer som kan uppstå i kombination med vågor och vinduppstuvning. En riskbedömning för att intensiv nederbörd inträffar vid höga vattenstånd har utförts.

2.1 Riktlinjer för dimensionering

En utmaning för alla som skall dimensionera för extrema havsnivåer är att det i dagsläget inte finns riktlinjer för dimensionerande havsnivåer vad gäller översvämningsrisker. Ett vanligt tillvägagångssätt hos många aktörer som SMHI kommit i kontakt med är att utgå ifrån en vattennivå med 100 års återkomsttid *eller* högsta uppmätta högvatten. Frågeställningen försvåras av en stigande havsnivå, eftersom skattningarna av hur mycket havet kan komma att stiga fram till 2100 är osäkra. Det är vanligt att olika aktörer löser detta genom att tillämpa någon form av extramarginal ovanpå de beräknade extrema vattennivåerna, ibland på mycket pragmatiskt vis.

För belastning på konstruktioner från vattnets tryck vid kortvariga extrema vattenstånd finns Boverkets konstruktionsregler (BKR-normen) som reglerar vilka vattenstånd som skall användas för dimensionering, dels för permanent last och dels för tillfällig last. För tillfällig last är det högsta uppmätta högvatten *eller* vattenstånd som har en 98 % sannolikhet att inte överskridas (vilket motsvarar 50 års återkomsttid) beroende på mätseriens längd.

2.2 Tidigare beräkningar

I SMHI Rapport 2008-18 användes resultaten från FNs klimatpanels fjärde rapport (IPCC, 2007) för att beräkna extrema havsnivåer med både kort och lång varaktighet i dagens klimat och för 2100. De högsta vattenstånden uppträder under en relativt kort tid och har betydelse för belastning på konstruktioner och för översvämning av stadsmiljö.

Inför SMHI Rapport 2010-1 hade kunskapsläget uppdaterats. Extrema vattenstånd för 2100 beräknades både utifrån IPCC AR4 och från estimat från Holländska Deltakommittén (Tabell 3.1).

Under 2010 fortsatte SMHI sin uppdatering av kunskapsläget vilket ledde till en sammanvägd analys att +1m global höjning av medelvattenytan var en rimlig högsta nivå. I samband med detta skrevs en promemoria till Stockholm stad med en beräkning baserad på de senaste resultaten och en jämförelse med tidigare resultat. PM:et innehöll också ett förtydligande av BKR-normen och en beräkning av återkomsttiden för högsta uppmätta vattenstånd i Stockholm.

Under senare år har nya rön och bedömningar presenterats som rör framtidens klimat och utvecklingen av havets nivåer. Mer övergripande har SMHI som myndighet belyst frågan i utlåtandet till regeringen från Rummukainen m.fl. (2011). Där dras slutsatsen att ”Jämfört med genomgången av kunskapsläget i AR4 tyder nya resultat bland annat på att havshöjningen kan bli större vid lutet av detta sekel än vad som bedömdes 2007”.

Mer specifika och kundanpassade beslutsunderlag för fysisk planering och infrastruktur tillhandahålls av avdelningen Miljö och Säkerhet vid SMHI. I dessa underlag gör SMHI en tolkning av nuvarande kunskapsläge och forskningsresultat och översätter detta för att kunna besvara kundernas frågeställningar. Detta gäller exempelvis de klimatanalyser som levererats till flera länsstyrelser men även underlaget till Projekt Slussen. Här grundar sig SMHIs utlåtande på ett flertal internationella vetenskapliga sammanställningar och bedömningar, inklusive den holländska Delta kommitténs. Bedömningar från England, USA, Vietnam har vägts in liksom Norska bedömningar från Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. Samtliga dessa källor anger att IPCCs slutsatser från 2007 troligen ligger för lågt.

SMHIs syn har formulerats i en klimatanalys till länsstyrelsen i Stockholms län enligt följande: ”Sammantaget pekar de internationella sammanställningar och bedömningar, som SMHI tagit del av, på att en övre gräns för hur mycket havsytans nivå kan komma att stiga är ungefär 1 m under perioden 1990-2100 sett som ett globalt medelvärde.” Denna siffra skall naturligtvis korrigeras för landhöjning och andra lokala effekter. SMHIs underlag ligger sedan som grund för de beslut som fattas av respektive kund där även andra faktorer vägs in som t.ex. risktagande, kostnader, objektets livslängd etc.

Det Arktiska rådets arbetsgrupps (AMAP) kunskapssammanställning anger nivåer som är högre än de som kommit från SMHIs övriga källor, men detta ändrar för närvarande inte SMHIs sammanfattande bedömning vad gäller stigande havsnivåer under det närmaste seklet. Vi arbetar kontinuerligt med att analysera nya forskningsresultat och internationella bedömningar för att succesivt ta med dessa och förbättra våra beslutsunderlag.

3 Faktorer som påverkar vattenståndet

Vattenståndet på en plats är effekten av många faktorer som verkar med olika kraft och variation över tiden. Exempelvis vindar, lufttryck, vattnets densitet, landhöjningen och världshavens vattenstånd.

Förändringar i det globala havsvattenståndet berör stora områden och sker under en längre tid. Landhöjning och landsänkning är andra långsamma processer som är av mer regional karaktär. Effekterna av de långvariga processerna är kännbara först efter flera årtionden eftersom fenomenen på kort eller mellanlång sikt döljer de långsamma processerna.

Globalt sett är de viktigaste processerna den termiska expansionen (havets utvidgning vid uppvärmning) och bidrag från smältande glaciärer och de stora landisarna på Grönland och Antarktis. Ändrade nederbördsförhållanden på dessa stora isar har också stor betydelse. Det finns också stora regionala och lokala skillnader som beror på ändrad salthalt, ändringar i det lokala vindklimatet, ändrade gravitationsfält när de stora isarna smälter samt även ändrade landhöjnings- och

landsänkings-förhållanden när belastningen på jordskorpan förändras på grund av trycket från de stora isarna minskar. Ännu kvarstår en hel del frågetecken rörande framtidens havsnivåer.

De förändringar i havsvattenståndet som vi upplever i vår vardag sker under månader eller dygn, och beror på storskaliga och lokala väderfenomen. Förhållanden som ger kortvariga höga vattenstånd är till exempel kraftiga lågtryck och kraftig vind mot kusten som ger vindstuvning in mot land. Medelvattenståndet är också en viktig faktor för hur hög vattennivå som uppnås vid varje tillfälle med extrema nivåer eftersom det bestämmer vattenståndets utgångsläge. Medelvattenståndet i Östersjön beror på om de rådande vindarna ger inflöde eller utflöde till Östersjön. Ett exempel på en period med höga medelvattenstånd är vintern 2006-2007 då ihållande västvindar ledde till mycket högre vattenstånd än normalt i Östersjön.

3.1 Havsvattenståndsförändring till följd av global uppvärmning

I början av 1990-talet skickades flera satelliter upp vars syfte var att mäta jordytan med stor precision. Dessa mätningar visar att havsytan globalt i medeltal stigit drygt 3 mm/år under perioden 1991-2003. Detta syns även i svenska mätserier. Det finns samtidigt områden som stigit mer, eller mindre, bland annat beroende på variationer i temperatur.

Frågan om framtidens havsnivåer har blivit alltmer aktuell under de år som gått sedan IPCC presenterade sin fjärde Assessment Report (AR4) i januari 2007 (IPCC, 2007) och som utgick från den då tillgängliga klimatforskningen. AR4 angav 18-59 cm som ett intervall för höjning av havsnivån, med regionala variationer. Sedan dess har flera vetenskapliga artiklar publicerats som betonar risken för att isavsmältningen kan komma att ske snabbare och att världshavet kan komma att stiga mer än vad som tidigare antagits.

Nyare uppgifter från den internationella forskningen presenteras i Tabell 3.1. Den baseras på de uppgifter som nått SMHI hittills och gör inte anspråk på att vara fullständig. Observera att siffrorna inte är helt jämförbara eftersom de utgår från olika referensperioder. Därför har den aktuella referensperioden angivits i tabellen.

Tabell 3.1. Sammanställning av internationella utredningar avseende på stigande havsnivå.

Datum	Källa	Referensperiod	Höjning till ungefär år 2100 (cm)
Januari 2007	IPCC	1980-1999	18-59 (exkl. isdynamik)
Hösten 2008	Deltacommissie (Holland)	1990	55-120
April 2009	Rummukainen och Källén	2009	<i>"det kan röra sig om en meter under de närmaste 100 åren"</i>
Juni 2009	Ministry of Natural Resources and Environment, Vietnam	1980-1999	75 (65-100)
Juni 2009	UK Climate Projections science report (Lowe et al.)	1980-1999	11,6-75,8 cm runt Storbritannien och Irland (5-95 percentil baserad på låga till höga utsläpp)
September 2009	Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap i Norge	2000-2100	80
November 2009	Copenhagen diagnosis	1980-1999	<i>"at least twice as much as projected by Working Group 1 of the IPCC AR4"</i> <i>"it may well exceed 1 m"</i>
November 2009	NOAA	<i>"by the end of this century"</i>	3-4 fot (90-120 cm)
November 2009	Netherlands Environmental Assessment Agency PBL m.fl.	1990-2100	55-110 (40-105 lokalt för Holland)
Februari 2010	Australian Department of Climate Change	1990-2100	110

Senare bedömningar av havets framtida nivåer skiljer sig från IPCCs siffror från 2007. En del av skillnaden är dock skenbar och kan till en del bero på att uppgifterna presenteras på ett annat sätt i AR4 än i IPCCs tredje Assessment Report (TAR) från 2001. IPCC tolkas också ibland alltför bokstavligt utan att man tar hänsyn till att IPCC – som uttryckligen skrivs i sammanfattningen för beslutsfattare – inte medräknat effekterna av isflöden från inlandsisarna till havet, så kallade dynamiska effekter (Naturvårdsverket, 2007, sid 33).

Ytterligare en orsak är att de olika källorna använder sannolikhetsnivåer som ofta skiljer sig åt. Jämförelsen mellan IPCC AR4 och den holländska Deltakommitténs bedömningar diskuteras ingående av Vellinga m.fl. (2008) i ett underlagsdokument till Deltakommittén. Man betonar att det holländska arbetet fokuserar på den övre gränsen av tänkbara utvecklingar genom att använda A1F1-scenariet för framtida utsläpp. En stor skillnad ligger också i bedömningen av hur isarna på Antarktis och Grönland kommer att utvecklas. IPCCs högsta siffra (59 cm) och det högsta värdet från UK Climate Projections science report (75,8 cm) har gemensamt att de presenterar 95-percentilen, vilket i detta sammanhang alltså inte kan ses som en övre gräns.

I Köpenhamns klimatanpassningsplan som kom ut på hearing i februari 2011 anges också en medelvattenhöjning på strax under 1 m som sannolik fram till 2100.

Det är slutligen viktigt att notera att de flesta uppskattningar som förekommer rörande framtida havsnivåer bygger på något eller några av IPCCs utsläppsscenarier. Det innebär att effekterna av eventuella utsläppsbegränsningar minskar stigningstakten, men den upphör inte helt på grund av klimatsystemets stora tröghet.

Sammantaget pekar de internationella sammanställningar och bedömningar, som SMHI tagit del av, på att ett rimligt antagande av en övre gräns för hur mycket havsytan kan komma att stiga är ungefär 1 m under perioden 1990-2100, sett som ett globalt medelvärde. Utifrån detta värde och antaganden över lokala effekter, gällande att stormfrekvensen inte kommer att förändras väsentligt jämfört med det historiska klimatet, har framtida medelnivåer och extremnivåer beräknats för Stockholm. På grund av de osäkerheter som råder bör dock denna fråga följas noggrant i framtiden.

3.1.1 Havshöjning i Stockholm och Sverige

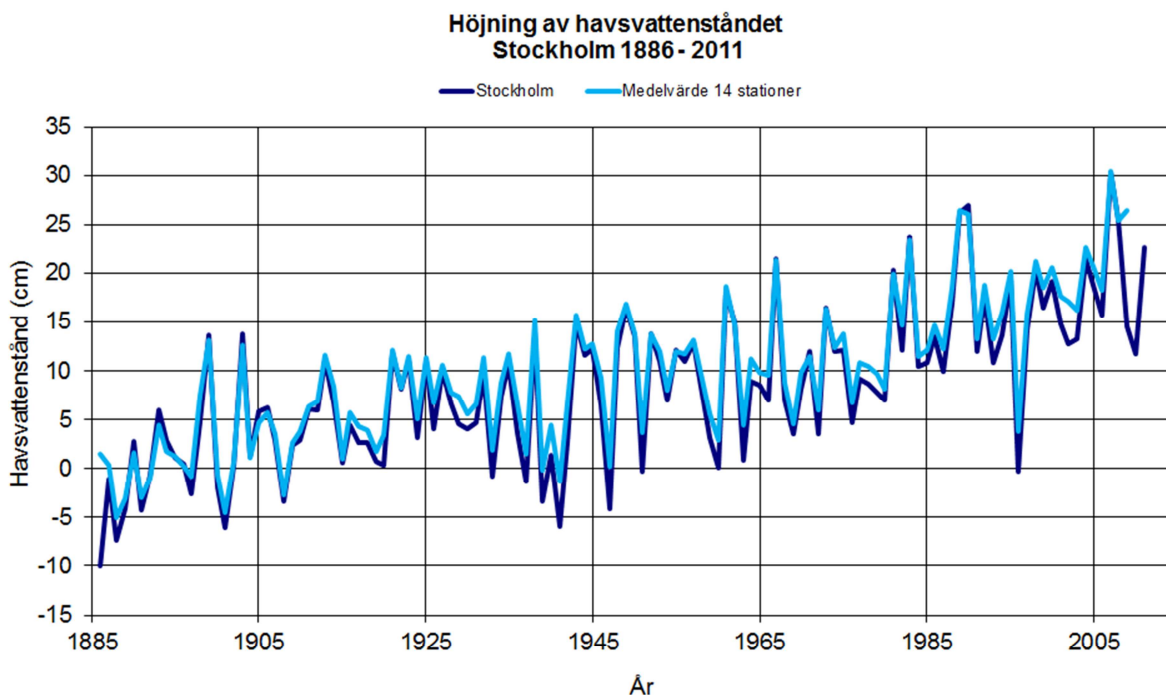
Mätningar av havsvattenstånd startade i Stockholm redan 1776 vilket gör den till en av världens längsta vattenståndsserier. Timvis registrering av vattenståndet startade 1886 på Skeppsholmen i Stockholm. Figur 3.1 visar pegeln under pågående kontrollmätning.

Vid eller nära många av SMHIs havspeglar finns GPS-stationer för mätning av absolut landhöjning, bland annat i Stockholm. Samlokalisering av mätstationerna gör att såväl den globala havsnivåhöjningen som den lokala landhöjningen kan följas med stor noggrannhet.



Figur 3.1. SMHIs havspegel (mareograf) på Skeppsholmen. Till vänster i bild pågår en kontrollavvägning av vattenståndet mot stationens fixar vid pegeln. Foto: Thomas Hammarklint, SMHI.

Analys av långa tidsserier av havsvattenstånd visar att havet stigit i Stockholm och i Sverige. Figur 3.2 visar årsmedelvärdet av havsvattenstånd i Stockholm och på 14 stationer i Sverige 1886-2010. I figuren är effekten från landhöjningen borttagen, och man kan dels se att medelvärdet varje enskilt år varierar, samtidigt som även en stigande trend är väl synlig. En dataanalys visar att höjningen i Sverige varit ungefär 1,5 mm/år i denna period (Hammarklint, 2011). Sedan 1980 har den varit ungefär 3 mm/år. Satellitobservationer visar på en global höjning av vattenståndet på ca 3 mm/år från 1993-2005, och en något lägre höjning efter 2005 på 2,5 mm/år.

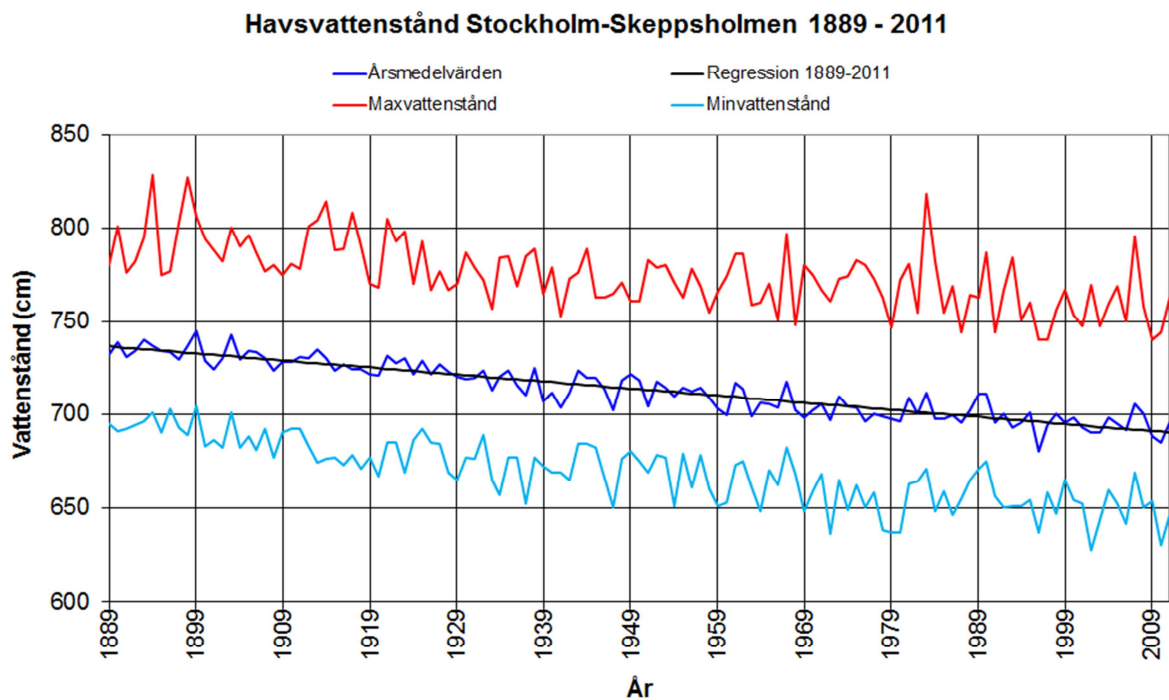


Figur 3.2. Havsvattenstånd (årsmedelvärde) från Stockholm och Sverige 1886-2011 när landhöjningen är borttagen. Det är en stor variation mellan åren, men även en tydlig stigande trend.

3.2 Landhöjning

I Sverige pågår en landhöjning som är störst i norra Sverige och avtar successivt söderut. I dagligt tal förväxlas ofta landhöjningen med den synbara landhöjningen som är en relation mellan havets höjning och landets höjning/sänkning. I och med den kraftiga landhöjningen i norra Sverige tar det längre tid där innan effekterna av den globala vattenståndsökningen märks. I områden där landhöjningen är liten höjs vattenståndet relativt land (en synbar landsänkning).

I Stockholm är landhöjningen 5,2 mm/år. Då värdet är högre än havens stigningstakt idag har vi nu en synbar landhöjning i Stockholm. Figur 3.3 visar medelvattenstånd och årets högsta och lägsta vattenstånd i ett lokalt fast höjdsystem för Stockholm 1886-2011. I kurvan för årsmedelvärdet ser man den synbara landhöjningen genom att årsmedelvärdet sjunker. Den synbara landhöjningen kommer att fortsätta till dess att medelvattenståndets höjningstakt överskrider landhöjningen.



Figur 3.3. Vattenståndet i Stockholm är kombinationen av landhöjning, havshöjning och variationer som beror på väderförhållanden. Den mörkblå linjen visar Stockholms medelvattenstånd, och trendlinjen visar tydligt att landhöjningens bidrag är större än havshöjningen från 1889 till 2011. Den röda och ljusblå linjen visar årets högsta respektive årets lägsta vattenstånd, vilka har stora år- till år-variationer.

3.2.1 Årets beräknade medelvattenstånd och Rikets Höjdsystem

Vattenståndet mäts i ett lokalt höjdsystem som är specifikt för varje mätstation. Figur 3.3 visar årsmedelvärdet och årets högsta och lägsta vattenstånd i det lokala höjdsystemet som gäller för Stockholm-Skeppsholmen. SMHI redovisar sedan havsvattenstånd relativt den beräknade medelvattenytan som bestäms genom regression av många års medelvärden. Årets beräknade medelvattenstånd är per definition alltid 0, och det värde som trendlinjen har i det lokala höjdsystemet är det värde som dras bort från de uppmätta värdena¹. Det krävs mer än 30 års värden för att någorlunda väl kunna bestämma lutningen på trendlinjer.

Svårigheten med det beräknade medelvattenståndet är att det förändrar sin relation till land. Fördelen är att effekten av den synbara landhöjningen tas bort så att alla mätdata blir jämförbara. Detta gör att statistiken över extrema vattenstånd är ändamålsenlig för dagens förhållanden trots att den beräknats med 150 år gamla data.

För att kunna beskriva havets relation till land används fasta höjdsystem. Alla konstruktioner eller platser på land har samma förhållande eller höjd relativt referensnivån men medelvattenytans förhållande till referensytan och därmed till fasta konstruktioner på land kan förändras på grund av land- och havshöjning. Höjdsystemen som används av Sveriges kommuner idag är RH00, RH70 och RH2000. Dessa tre har tagits fram genom lantmätning och referensnivån (0-nivån) bestämdes 1900, 1970 och 2000 för de tre systemen. Nollnivån i Rikets Höjdsystem 2000 (RH2000) definieras av Normaals Amsterdams Peil (NAP), vilket är en punkt i Amsterdam som används som 0-punkt även i andra europeiska länder. Som nollnivå i RH00 valdes medelvattenytan i Stockholm år 1900, representerad av en markerad punkt på Riddarholmen i centrala Stockholm.

Årets medelvattenstånd i Stockholm 2012 är -41 cm i RH00, -5 cm i RH70 och 12 cm i RH2000 (Tabell 3.2). Också denna relation förändras med tiden på grund av den synbara landhöjningen: 1990 års medelvattenstånd enligt den regressionslinje som vi har idag är -32 cm i RH00, 4 cm i RH70 och

¹ T.ex. är det beräknade medelvattenståndet i Stockholm 2011 690,2 cm i det lokala höjdsystemet. Högsta högvatten 2011 var 762,8 cm i det lokala höjdsystemet, och 72,6 cm relativt medelvatten.

20 cm i RH2000. Detta beror på att den synbara landhöjningen, 0,38 cm per år, leder till att havet sjunker relativt land (Figur 3.3).

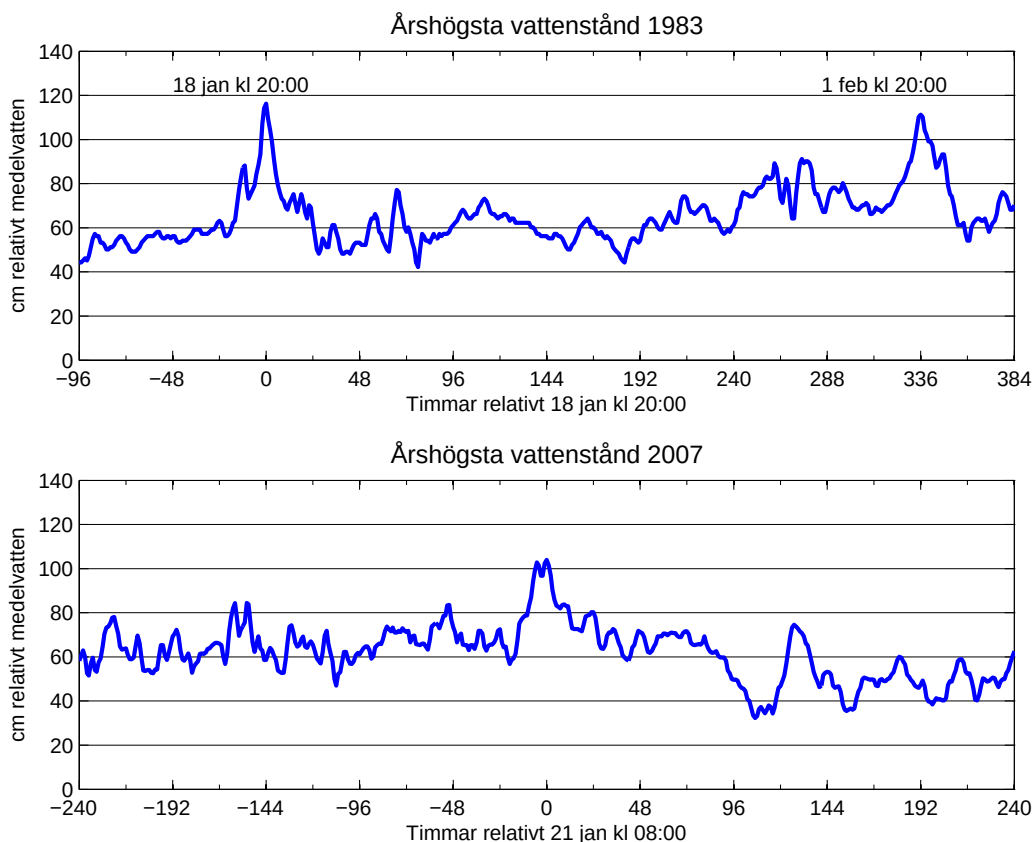
Med stigande havsnivåer kommer inte den synbara landhöjningen att fortsätta som idag, utan havshöjningen eskalerar. Det är av stor betydelse att både förstå de fysiska processerna och hur man beskriver detta gentemot fasta punkter och höjdsystem på land.

Tabell 3.2. Medelvattenytan i RH00, RH70 och RH2000 idag 1990 (referensåret) och 2100 förutsatt +1 m global höjning av vattenståndet.

	MW i RH00	MW i RH70	MW i RH2000
1990	-32 cm	4 cm	20 cm
2012	-41 cm	-5 cm	12 cm
2100	12 cm	47 cm	63 cm

3.3 Kortvariga vattenståndsvariationer

Figur 3.4 visar de tre högsta uppmätta vattenstånden i Stockholm relativt årets beräknade medelvattenstånd sedan 1886. Två av dessa inträffade i januari och februari 1983 och det tredje högsta i januari 2007. Gemensamt för alla tre är att vattenståndet innan extremvärdet är mycket högt, upp mot 60 cm. Vintern 2006–2007 är ett klassiskt exempel på betydelsen av förhöjda medelvattennivåer. Ihållande västvindar ledde till mycket högre vattenstånd än normalt i Östersjön och flera extrema vattenstånd uppmättes då i hela Östersjön. I figurerna kan man se att själva svängningen från utgångsläget inte är mer än ca 60 cm. Det är alltså kombinationen av något som sker under längre tid som höjer medelvattenståndet och en extrem händelse som ger de riktigt höga vattenstånden.



Figur 3.4. De tre högsta uppmätta vattenstånden i Stockholm, 117, 111 och 104 cm över medelvatten. Vattenståndsextremerna har relativt kort varaktighet, de högsta nivåerna förekommer under ca 6-12 timmar. Hela förloppet från utgångsläget och tillbaka till samma nivå tar ungefär 48 timmar i de tre fall som visas här.

3.3.1 Vindpåslag

Vinduppstuvning och vindvågor är två ytterligare faktorer som kan höja vattennivån lokalt.

Utöver den höjning som sker på grund av vindskjuvning mot land kan också vinduppstuvning förekomma lokalt i vikar och sund. I samband med att vind blåser över en vattenyta i t.ex. en vik förs vatten i vindens riktning från en sida av viken till den motsatta. Det transporterade vattnet strömmar sedan tillbaka, vanligen längs botten. Beroende på djupförhållanden sker denna återströmning mer eller mindre lätt och vatten kan "stuvast" upp i de inre vindutsatta delarna av viken.

Uppstuvningseffekten i ett aktuellt vattenområde beräknas för en viss vindhastighet med hjälp av ekvationer. I breda vikar kan vattnet ofta ta sig ut längs sidorna och här är inte heller fenomenet så vanligt förekommande.

Vindvågor kan också leda till förhöjda nivåer. Med signifikant våghöjd menas medelvärde av de 33 % högsta våghöjderna.

4 Metodik

De internationella sammanställningar och bedömningar, som SMHI tagit del av, pekar mot att ett rimligt antagande av en övre gräns för hur mycket havsytan kan komma att stiga är ungefär 1 m under perioden 1990-2100, sett som ett globalt medelvärde. Utifrån detta värde och antaganden över lokala effekter, gällande att stormfrekvensen inte kommer att förändras väsentligt jämfört med det historiska klimatet, har framtida medelnivåer och extremnivåer beräknats för Stockholm.

4.1 Medelvattenytans höjning

Då vattenståndshöjningen beskrivs relativt 1990 är alla framtida nivåer beräknade utifrån 1990. Ekvationen nedan visar hur medelvattenytan 2100 beräknats. Nivåerna beräknas för varje höjdsystem separat.

$$MW_{2100} = MW_{1990} + SLR_{1990-2100} - LH_{1990-2100}$$

MW är medelvattenståndet, SLR är Sea Level Rise och LH är landhöjningen.

4.2 Karaktäristiska och extrema vattenstånd

Karaktäristiska vattenstånd från SMHI:s mätstation i Stockholm-Skeppsholmen beräknas i dagens och framtidens klimat. De karaktäristiska vattenstånd som beräknas är högsta högvattenstånd, medelhögvattenstånd, medelvattenstånd, medellågvattenstånd och lägsta lågvattenstånd.

För beräkningar av extrema vattenstånd i dagens klimat har statistiska återkomsttider beräknats från årshögsta vattenstånd av data från Stockholm-Skeppsholmen från 1889 till 2012. För beräkningen av extrema vattenstånd i framtiden adderas medelvattenytans höjning innan den statistiska beräkningen görs för framtidens klimat. Metodiken bygger på ett antagande om att fördelningen av extrema vattenstånd är densamma som idag och att hela höjningen av vattenståndet beror på medelvattenytans höjning. De senaste forskningsresultaten från Rossby Centre/ENSEMBLES-projektet visar ingen tendens att stormar varken blir vanligare eller mer ovanliga och stödjer därmed denna ståndpunkt.

4.2.1 Sannolikhet och risk

Som mått på översvämningsrisker används ofta begreppet återkomsttid, vilket betecknar den genomsnittliga tiden mellan två översvämnningar av samma omfattning. I själva verket uttrycker begreppet en procentuell sannolikhet för att en händelse inträffar varje enskilt år. En återkomsttid på 100 år är egentligen en förenklad beskrivning av ett vattenstånd som har 1 % sannolikhet att inträffa varje enskilt år. En återkomsttid på 50 år motsvarar en sannolikhet på 1/50 eller 2 % varje enskilt år. Begreppet återkomsttid ger därför en falsk känsla av säkerhet, eftersom det anger sannolikheten för ett

enda år och inte den sammanlagda sannolikheten för en period av flera år. Tabell 4.1 visar den sammanlagda sannolikheten för att ett vattenstånd med en viss återkomsttid skall överskridas under en längre tidsperiod. Ett vattenstånd med återkomsttiden 100 år har t.ex. 5 % sannolikhet att inträffa under 5 år, 39 % sannolikhet att inträffa under en 50-årsperiod och en sannolikhet på 63 % att inträffa under en 100 årsperiod.

Beräknade nivåer med återkomsttider på flera hundra år innehåller stora osäkerheter, men är det bästa som kan göras med statistisk extremvärdesanalys. I Flödeskommitténs ”Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar” anges tumregeln att **den beräknade återkomsttiden inte bör vara mer än dubbelt så lång som den underliggande tidsserien**. Om återkomsttider långt utöver detta beräknas blir osäkerheten i beräkningen mycket stor. För Stockholm-Skeppsholmen finns drygt 120 års vattenståndsdata och därför kan vattenstånd med mer än 200 års återkomsttid beräknas.

Tabell 4.1 Sannolikheten för ett visst vattenstånd uttryckt i procent under en period av år.

Återkomst-tid (år)	Sannolikhet under 5 år (%)	Sannolikhet under 10 år (%)	Sannolikhet under 20 år (%)	Sannolikhet under 50 år (%)	Sannolikhet under 100 år (%)
5	67	89	99	100	100
10	41	65	88	99	100
20	23	40	64	92	99
50	10	18	33	64	87
100	5	10	18	39	63

4.3 Våghöjd och uppstuvningseffekter

Vilka våghöjder som kan förekomma i området har beräknats med hjälp av fyra empiriska överslagsmässiga metoder för olika vindförhållanden. Vindarna baseras på data från SMHI:s mätstation i Stockholm-Bromma från januari 1990 till december 2011. Beräkningarna har utförts för **nordvästliga** och **sydostliga** vindar då det är vid dessa riktningar som den längsta stryklängden förekommer. Frekvensanalys av vindarna har utförts och visar att:

- **Nordvästliga** vindar förekommer under 11,6 % av tiden. De vanligaste vindhastigheterna är mellan 2,0-3,9 m/s (5,3 % av tiden) och de näst vanligaste vindhastigheterna är mellan 4,0-5,9 m/s (3,4 % av tiden).
- Den högsta vindhastigheten som förekommit under en 3-timmarsperiod i **nordvästlig** riktning är 11 m/s. Detta inträffade i januari år 2000.
- **Sydostliga** vindar förekommer under 11,0 % av tiden. De vanligast förekommande vindhastigheterna är mellan 2,0-3,9 m/s (4,2 % av tiden) och de näst vanligast förekommande vindhastigheterna är mellan 4,0-5,9 m/s (3,6 % av tiden).
- Den högsta vindhastigheten som förekommit under en 3-timmarsperiod i **sydostlig** riktning är 11 m/s. Detta inträffade i januari 1990, i februari 1997 samt i oktober 1998.
- Den högsta uppmätta vindhastigheten under perioden är 15 m/s. Denna vindhastighet har endast förekommit vid ett mättillfälle under perioden.

Utifrån resultatet av frekvensanalysen av vindarna beräknas den signifikanta våghöjden (H_s). Med signifikant våghöjd menas medelvärdet av de 33 % högsta våghöjderna. Metoden som använts tar inte hänsyn till reflektion från kajer mm som lokalt skapar ytterligare förhöjda vågor.

4.4 Extrema vattenstånd med 24 timmars varaktighet

För beräkningar av extrema vattenstånd med minst 24 timmars varaktighet i dagens klimat har statistiska återkomsttider beräknats från årshögsta vattenstånd med minst 24 timmars varaktighet. För beräkningen av extrema vattenstånd i framtiden adderas medelvattenytans höjning innan den statistiska beräkningen görs för framtidens klimat. Data av vattenstånd är från Stockholm-Skeppsholmen från 1889 till 2012. Samma metod har alltså använts som vid beräkningen av extrema vattenstånd men med skillnaden att det årshögsta vattenståndet i detta fall skall ha en varaktighet på minst 24 timmar. Högre vattenstånd har förekommit under året men med kortare varaktighet än 24 timmar.

4.5 Återkomsttider för intensiv nederbörd i kombination med höga vattenstånd

Nederbördsdata kommer från SMHIs mätstation i Tullinge söder om Stockholm. Mätserien innehåller timvärden med nederbörd under perioden 1996-2011. Återkomsttider för nederbörd med varaktigheten 1 timme har beräknats med Gumbel-metoden (Buishand, 1986). Då mätserien är 16 år lång har återkomsttider upp till 30 år beräknats.

För att få en uppfattning om ett eventuellt beroende mellan intensiv nederbörd och högt havsvattenstånd kombineras timvärden av vattenståndsdatan med timvärden från samma klockslag av nederbördsdatan.

5 Resultat

5.1 Karaktäristiska vattenstånd och återkomsttider

Tabell 5.1 Karaktäristiska havsvattenstånd i förhållande till MW för Stockholm-Skeppsholmen för perioden 1889-2011.

	Observerat relativt MW (cm)	Vst i RH2000 (cm) 2012	Vst i RH2000 (cm) 2100
HHW	117	129	180
MHW	62	73	125
LHW	36	48	99
MW	0	12	63
HLW	-23	-11	40
MLW	-44	-33	19
LLW	-69	-57	-6

HHW = Högsta högvattenstånd (Högsta av årens högsta vattenstånd)

MHW = Medelhögvattenstånd (Medel av årens högsta vattenstånd)

LHW = Lägsta högvattenstånd (Lägsta av årens högsta vattenstånd)

MW = Medelvattenstånd

HLW = Högsta lågvattenstånd (Högsta av årens lägsta vattenstånd)

MLW = Medellågvattenstånd (Medel av årens lägsta vattenstånd)

LLW = Lägsta lågvattenstånd (Lägsta av årens lägsta vattenstånd)

RH2000 = Rikets höjdsystem 2000

Tabell 5.2 visar statistiskt beräknade nivåer för återkomsttiderna 5, 10, 50, 100, 200 samt 300 år. Det motsvarar 20 %, 10 %, 2 %, 1 %, 0,2 % respektive 0,33 % sannolikhet att nivån överskrids varje enskilt år. För 2012 är vattenståndet med 100 års återkomsttid 116 cm i RH2000. Det högsta uppmätta vattenståndet, 117 cm relativt medelvatten eller 129 cm i RH2000 motsvarar ungefär en återkomsttid på 300 år. Observera att osäkerheten är stor när återkomsttiden blir mycket längre än dataunderlaget vilket indikeras av det stora konfidensintervallet för de högre återkomsttiderna.

Tabell 5.2 Vattenstånd med 5, 10, 50, 100, 200 samt 300 års återkomsttid i Rikets höjdsystem 2000. Intervallerna visar 90 % konfidensintervallet, och värdena för 2100 bygger på +1 m global höjning av vattenytan och reduktion för landhöjning.

Återkomsttid (år)	Vst i RH2000 2012	Vst i RH2000 2100
5	84 cm 81-87	135 cm 132-138
10	92 cm 89-97	143 cm 140-148
50	109 cm 103-121	161 cm 154-172
100	116 cm 108-133	168 cm 159-184
200	123 cm 113-145	174 cm 164-196
300	127 cm 115-151	178 cm 166-203

5.1.1 Fortsatt havshöjning efter 2100

Havshöjningen kommer inte att upphöra år 2100. De riktmärken som anges är att havets höjning år 2200 kan bli 2-4 meter högre än 1990 (Deltacommissie). Förutsatt en linjär höjning innebär det 10-30 cm ytterligare höjning på 10 år i tiden från 2100 till 2110. För Stockholms del reduceras även denna höjning av landhöjningen, vilket innebär att medelvattenytans höjning lokalt blir 5-25 cm, beroende på stigningstakt. Utifrån samma resonemang som ovan är resultaten för 2100 användbara för 2110. SMHI vill dock betona det faktum att havshöjningen inte slutar 2100 utgör skäl för att inte använda för snäva säkerhetsmarginaler. Antagandet om oförändrat stormklimat förändras inte heller på 10 års sikt.

5.2 Våghöjd och uppstuvningseffekter - vindpåslag

Uppstuvningseffekten vid Södra Värtahamnen har analyserats och bedöms vara försumbar. Detta på grund av att det aktuella området ligger ungefär i mitten av Lilla Värtan, vilken är öppen i båda ändar.

Utifrån resultaten av frekvensanalysen av vindarna har signifikant våghöjd (H_s) beräknats för vindhastigheterna 3 m/s, 5 m/s, 11 m/s (dimensionerande) och 15 m/s för både nordvästlig och sydostlig riktning. Resultaten presenteras i Tabell 5.3 respektive Tabell 5.4.

Fyra olika empiriska metoder har använts vid beräkningarna, resultaten i tabellerna anges som medelvärde av dessa metoder plus-minus standardavvikelsen. Vid varaktig nordvästlig kuling 15 m/s blir den signifikanta våghöjden, H_s , 0,5 m, och vid sydostlig kuling om 15 m/s blir den signifikanta våghöjden 0,45 m. Dessa vågor är inte begränsade av djupe, vilket innebär att vågorna är oberoende av havsvattenstånd (dvs. vågorna kommer att vara lika höga 2110 som 2100, för nämnda vindriktningar och vindstyrka).

För samtliga fyra metoder som använts är det vindens stryklängd som är den begränsande faktorn för våghöjden och inte vindens varaktighet. Metoderna är mer riktiga då stryklängden är den begränsande faktorn jämfört med om vindens varaktighet är den begränsande faktorn.

Tabell 5.3 Signifikant våghöjd och våghöjden för de 5 % högsta vågorna plus-minus standardavvikelsen för de fyra olika vindhastigheterna i **nordvästlig** riktning.

Vindhastighet	H _s - Signifikant våghöjd	De 5 % högsta vågorna
15 m/s	0,50 m ± 0,06 m	0,65 ± 0,08 m
11 m/s	0,35 m ± 0,03 m	0,50 ± 0,05 m
5 m/s	0,15 m ± 0,01 m	0,20 ± 0,01 m
3 m/s	0,10 m ± 0,01 m	0,10 ± 0,01 m

Tabell 5.4 Signifikant våghöjd och våghöjden för de 5 % högsta vågorna plus-minus standardavvikelsen för de fyra olika vindhastigheterna i **sydöstlig** riktning.

Vindhastighet	H _s - Signifikant våghöjd	De 5 % högsta vågorna
15 m/s	0,45 m ± 0,05 m	0,65 ± 0,07 m
11 m/s	0,35 m ± 0,03 m	0,45 ± 0,04 m
5 m/s	0,15 m ± 0,01 m	0,20 ± 0,01 m
3 m/s	0,10 m ± 0,01 m	0,10 ± 0,01 m

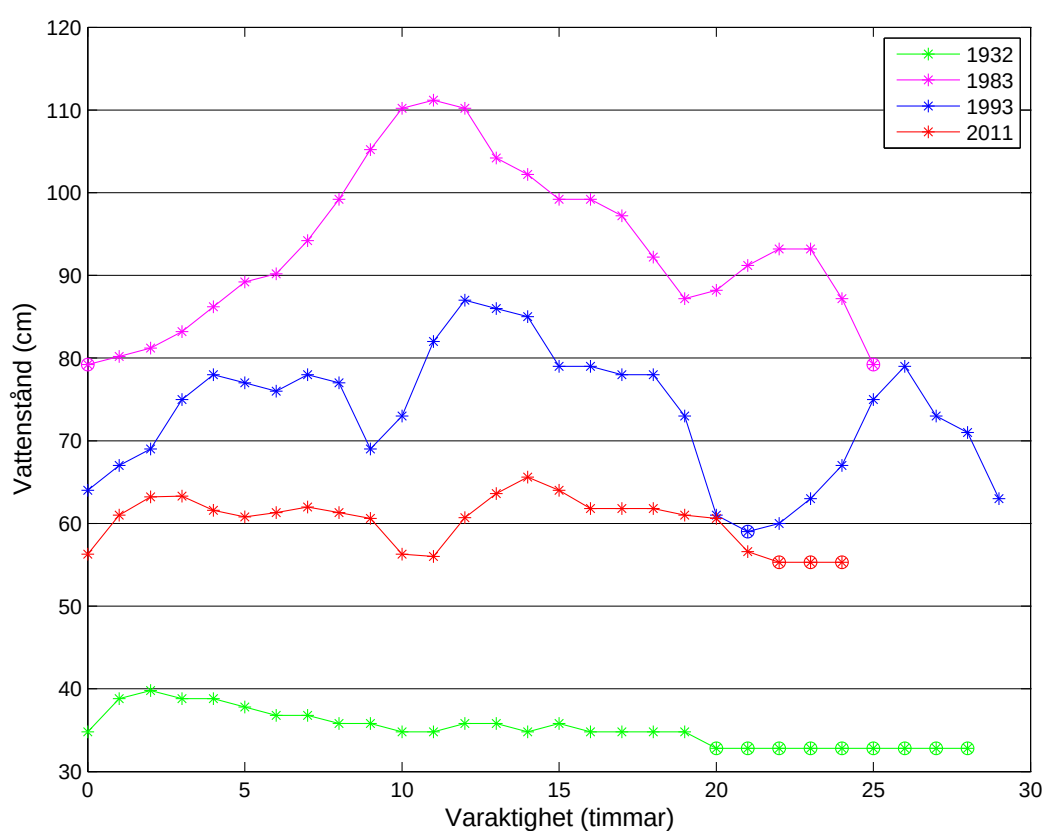
5.3 Återkomsttider av vattenstånd med en varaktighet på 24 timmar

Tabell 5.5 visar statistiskt beräknade nivåer för återkomsttiderna 5, 10, 50, 100, 200 och 300 år med en varaktighet på minst 24 timmar. Det motsvarar 20 %, 10 %, 2 %, 1 %, 0,5 % respektive 0,33 % sannolikhet att nivån överskrids varje enskilt år. För 2012 är vattenståndet med 100 års återkomsttid och med en varaktighet på minst 24 timmar 85 cm i RH2000. Det högsta uppmätta vattenståndet med en varaktighet på minst 24 timmar på 79 cm i RH2000 uppmätt 1983 motsvarar ungefär en återkomsttid på 50 år.

Vattenståndet under en 24 timmars period varierar och är högre än den nivå som ansätts som årshögsta med en varaktighet på minst 24 timmar. Figur 5.1 visar exempel på vattenståndsvariationer under perioden för årshögsta med en varaktighet på minst 24 timmar. År 1983 är årshögsta vattenståndet med en varaktighet på minst 24 timmar 79 cm men under denna period har vattenståndet varit uppe i 110 cm, alltså en variation på ca 30 cm. Även 1993 är det stora variationer under perioden för årshögsta med en varaktighet på minst 24 timmar medan variationen är mindre 1932 och 2011.

Tabell 5.5 Vattenstånd med 5, 10, 50 samt 100 års återkomsttid med en varaktighet på minst 24 timmar i RH2000. Intervallerna visar 90 % konfidensintervallet, och värdet 2100 bygger på +1 m global höjning och reduktion för landhöjning.

Återkomsttid (år)	Vst i RH2000 2012	Vst i RH2000 2100
5	63 cm 61-65	114 cm 112-116
10	68 cm 66-72	120 cm 117-123
50	80 cm 76-87	131 cm 127-138
100	85 cm 79-93	136 cm 131-145



Figur 5.1 Vattenståndsvariation, relativt årets beräknade medelvattenstånd sedan 1886, för årshögsta med en varaktighet på minst 24 timmar för 1932, 1983, 1993 och 2011. De värden som är inringade är de värden som ansåts som årshögsta med en varaktighet på minst 24 timmar.

5.4 Återkomsttider för intensiv nederbörd i kombination med höga vattenstånd

5.4.1 Återkomsttider

Nederbördsdata kommer från SMHIs mätstation i Tullinge söder om Stockholm. Mätserien innehåller timvärden med nederbörd under perioden 1996-2011. Återkomsttider för nederbörd med varaktigheten 1 timme har beräknats med Gumbel-metoden (Buishand, 1986) och redovisas i Tabell 5.6. När man

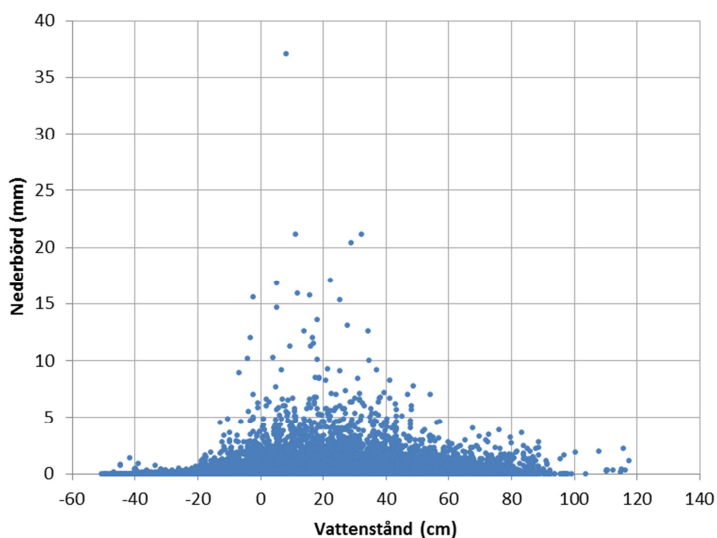
beräknar återkomsttider bör mätserien med observationer som används vara minst hälften så lång som den återkomsttid som ska beräknas. Eftersom mätserien är 16 år har endast återkomsttider upp till 30 år beräknats.

Tabell 5.6 Återkomsttider för nederbörd med varaktigheten 1 timme. Mätdata kommer från SMHI:s mätstation i Tullinge.

Återkomsttid (år)	Nederbörd (mm)
1	11
2	16
5	22
10	26
20	31
30	33

5.4.2 Beroende mellan intensiv nederbörd och höga vattenstånd

För att få en uppfattning om ett eventuellt beroende mellan intensiv nederbörd och högt havsvattenstånd kombinerades timvärden av vattenståndsdaten med timvärden från samma klockslag av nederbördsdaten. Resultatet visas i Figur 5.2. Figuren visar inget tydligt samband mellan de två variablerna. Vid de tillfällen det regnat mer än 10 mm på en timme har vattenståndet inte överstigit 40 cm. De mest intensiva regnen har inträffat runt medelvattenståndet 12 cm i RH2000. Den högsta intensitet som uppmätts under perioden är 37 mm och det inträffade den 15 augusti 2002. Vid detta tillfälle mätte vattenståndet 8,3 cm i RH2000. Vid de allra högsta vattenstånden (upp till 118 cm i RH2000, den 21 januari 2007) var intensiteten som mest 2 mm på en timme.



Figur 5.2 Timvärden av vattenstånd och uppmätt nederbörd under perioden 1996 till 2011.

En korrelationsanalys gjordes för att ta reda på om det finns något linjärt samband mellan vattenståndet och nederbörden. Determinationskoefficienten beräknades till $r^2 = 0,005$, vilket betyder att 0,5 % av tillfällena kan förklaras av ett linjärt beroende mellan nederbörd och vattenstånd. Det linjära sambandet är alltså mycket litet.

Det som främst påverkar ett vattenstånd till havs är vindens hastighet och riktning och de vågor den ger upphov till. Vädersituationerna för intensiv nederbörd och höga vindhastigheter ser generellt olika ut. Intensiv nederbörd inträffar oftast sommartid i samband med konvektiva åskväder och höga vindhastigheter som påverkar vattenståndet inträffar i samband med djupa lågtryck.

5.4.3 Återkomsttider och osäkerheter

Om de två variablerna anses vara oberoende av varandra kan återkomsttiden för kombinationen av intensiv nederbörd och höga vattenstånd beräknas med produkten av deras respektive återkomsttider. Detta betyder att återkomsttiden för att ett 10-årsregn på 26 mm ska inträffa samtidigt som ett 10-årigt vattenstånd på 92 cm är 100 år. Observera att mätserien som används för att studera variablernas oberoende endast är 16 år lång. Detta innebär en osäkerhet i beräkningen av återkomsttider, som ökar ju större återkomsttider som beräknas.

Ytterligare en osäkerhet i studien är avståndet mellan nederbördsstationen i Tullinge och platsen där vattenståndet mäts vid Skeppsholmen, som är ca 2 mil. Nederbörden som faller över Skeppsholmen har förmodligen inte exakt samma intensitet som i Tullinge. Framförallt när det gäller konvektiv nederbörd är den rumsliga variationen stor.

6 Diskussion

Som nämnts inledningsvis finns det inte än några riktlinjer för vad som är dimensionerande nivå vad gäller översvämning från havet, även om signaler från Länsstyrelserna tyder på att det i när framtid kan komma att finnas bättre rekommendationer. Bristen på en definition på vad som är dimensionerande nivå för olika konstruktioner försvåras också av att det inte idag finns någon metod som kan ersätta extremvärdesanalys för att räkna ut återkomsttider. Eftersom våra mätserier inte är tillräckligt långa för att beräkna långa återkomsttider på de flesta orter är detta ett bekymmer. För Stockholms del är högsta uppmätta vattenstånd, 129 cm i RH2000, en nivå som har 300 års återkomsttid och mätserien är tillnärmelsevis så lång att vi kan säga detta med viss säkerhet. Detta är också ett gott exempel på att en nivå med en relativt lång återkomsttid faktiskt förekommer. Samtidigt har extrema vattenstånd inte heller någon lång varaktighet.

Dimensionerande nivå i framtidens klimat är en än svårare uppgift, eftersom framtidens höjning är en ytterligare osäker faktor. Samtidigt är havshöjningen en långsam förändring och vi kommer få klara indikationer på om våra prognoser idag är för höga, för låga eller rätt med tiden. Kostnad och risk vägs mot varandra i all samhällsplanering och vissa av anpassningsåtgärderna som utförs för att skydda oss mot stigande hav lämpar sig väl för successiv anpassning.

7 Slutsatser

SMHI har beräknat extrema vattenstånd för Stockholm 2012 och 2100 utifrån en global höjning på +1 m mellan 1990 och 2100.

Havshöjningen upphör inte år 2100. De riktmärken som anges är att havets höjning år 2200 kan bli 2-4 meter högre än 1990 (Deltacommissie). Förutsatt en linjär höjning innebär det 10-30 cm ytterligare höjning på 10 år i tiden från 2100 till 2110. För Stockholms del reduceras även denna höjning av landhöjningen, vilket innebär att medelvattenytans höjning lokalt blir 5-25 cm, beroende på stigningstakt. Höjningen har samma storleksordning som konfidensintervallet för extrema vattenstånd enligt BKR, och resultaten för 2100 är därför användbara också för 2110. SMHI vill dock betona att det faktum att havshöjningen inte slutar 2100 utgör skäl för att inte använda för snäva säkerhetsmarginaler. Antagandet om oförändrat stormklimat förändras inte heller på 10 års sikt.

2100 beräknas vattenstånd med 50 års återkomsttid, dvs. den norm som gäller för att dimensionera efter laster från tillfälligt vattentryck, uppgå till 1,61 m i RH2000. Vattenståndet med 100 års återkomsttid är 1,68 m år 2100 i RH2000. Det högsta uppmätta vattenståndet idag, 129 cm i RH2000, är 13 cm högre än det beräknade vattenståndet med 100 års återkomsttid. 129 cm motsvarar en återkomsttid på 300 år.

Vattenstånd med 50 års återkomsttid och med en varaktighet på minst 24 timmar har beräknats till 1,31 m i RH2000 år 2100. För 100 års återkomsttid och med en varaktighet på minst 24 timmar har vattenståndet beräknats till 1,36 m år 2100 i RH2000.

Ett ytterligare vindpåslag på 0,5 m måste beaktas för översvämningar, dock ej för laster.

Återkomsttiden på 30 år för nederbörd med varaktigheten 1 timme har beräknats till 33 mm. Den högsta intensiteten som uppmätts under perioden är 37 mm och har alltså en återkomsttid som är högre än 30 år. Ett tydligt samband mellan intensiv nederbörd och högt havsvattenstånd har inte funnits. De mest intensiva regnen har inträffat runt medelvattenstånd. Vädersituationen för intensiv nederbörd och höga havsvattenstånd ser generellt olika ut. Intensiv nederbörd inträffar vanligtvis sommartid i samband konvektiva åskväder medan höga vindhastigheter som påverkar havsvattenståndet förekommer under djup lågtryck. Risken att intensiv nederbörd sammanfaller med ett extremt högt havsvattenstånd bedöms vara liten.

8 Referenser

- AMAP, (2011). *Snow, Water, Ice and permafrost in the Arctic (SWIPA) 2011*. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Executive Summary, Oslo.
- Andréasson, J. och Gustavsson, H. (2011) *Projekt Slussen – Förslag till ny reglering av Mälaren* SMHI-rapport 2011-64.
- Buishand T.A (1986) *Extreme-value analysis of climatological data*. Invited paper Third International Conference on statistical Climatology, Vienna (Austria).
- Cazenave, A., et al., Sea level budget over 2003-2008: A reevaluation from GRACE space gravimetry, satellite altimetry and Argo. Glob. Planet. Change (2009), doi: 10.1016/j.gloplacha.2008.10.004.
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Australian. *Sea Level Rise: Understanding the past – Improving projections for the future*. <http://www.cmar.csiro.au/sealevel/>
- Copenhagen Diagnosis (2009) Updating the World on the Latest Climate Science. I. Allison, N.L. Bindoff, R.A. Bindshadler, P.M. Cox, N. de Noblet, M.H. England, J.E. Francis, N. Gruber, A.M. Haywood, D.J. Karoly, G. Kaser, C. Le Quéré, T.M. Lenton, M.E. Mann, B.I. McNeil, A.J. Pitman, S. Rahmstorf, E. Rignot, H.J. Schellnhuber, S.H. Schneider, S.C. Sherwood, R.C.J. Somerville, K. Steffen, E.J. Steig, M. Visbeck, A.J. Weaver. The University of New South Wales Climate Change Research Centre (CCRC), Sydney, Australian, 60pp.
- Deltacommissie (2008) *Working together with water – A living land build for its future. Findings of the Deltacommissie 2008*. <http://www.deltacommissie.com/doc/summary.pdf>
- IPCC (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Lindberg, A.E.B. och S. Åström (2010). *Havsvattenståndsberäkningar Stockholm stad*. SMHI Rapport Nr. 2010-1
- Lowe, J.A., Howard, T. P., Pardaens, A., Tinker, J., Holt, J., Wakelin, S., Milne, G., Leake, J., Wolf, J., Horsburgh, K., Reeder, T., Jenkins, G., Ridley, J., Dye, S., Bradley, S. (2009) *UK Climate Projections science report: Marine and coastal projections*. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK. <http://ukclimateprojections.defra.gov.uk/>
- Ministry of Natural Resources and Environment (2009) *Climate Change, Sea Level Rise Scenarios for Vietnam*. Report from the Ministry of Natural Resources and Environment of Vietnam, Hanoi.
- Nakićenović, N., and R. Swart (eds.) (2000) *Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599pp.
- Naturvårdsverket (2007) *FNs klimatpanel 2007: Den naturvetenskapliga grunden. Sammanfattning för beslutsfattare*. Rapport 5677, Stockholm.
- Nerheim, S. och Wern, L. (2008) *Havsvattenstånd i Saltsjön – nu och i framtiden*. SMHI Rapport Nr. 2008-18.
- Nerheim, S. (2011) *Vattenståndsstatistik Stockholm – revision 4 2011-06-10*. PM till Projekt Slussen.
- Nerheim, S. (2011) *Havsnivåer i Stockholm 2011-2110: En sammanställning*. SMHI Rapport Nr. 2011-62.
- Netherlands Environmental Assessment Agency, Royal Netherlands Meteorological Institute and Wageningen University and Research Centre (2009) *News in Climate Science and Exploring Boundaries – A Policy brief on developments since the IPCC AR4 report in 2007*. Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL), Bilthoven, November 2009 PBL publication number 500114013,
- NOAA (2009) *NOAA Response to Congressional Questions Regarding Climate Change*. The Honorable Joe Barton and the Honorable Fred Upton. Questions for the Record from March 25, 2009

Hearing on Climate Adaptation. Response Updated November 2009 to Include Additional Graphic (www.noaa.gov/images/climate_cooling_testimony111909.pdf)

Nikulin, G., Kjellström, E., Hansson, U., Strandberg, G. and Ullerstig, A. (2010) *Evaluation and future projections of temperature, precipitation and wind extremes over Europe in an ensemble of regional climate simulations*. Tellus A, no. doi: 10.1111/j.1600-0870.2010.00466.x.

Rummukainen, M., D.J.A Johansson, C. Azar, J. Langner, R. Döscher, H.Smith (2011). Uppdatering av den vetenskapliga grunden för klimatarbetet. En översyn av naturvetenskapliga aspekter. SMHI Klimatologi Nr. 4, ISSN: 1654-2258.

http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.17826!RAPPORT_klimatologi%20nr%204.pdf

SOU (2007a) *Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter. Slutbetänkande av Klimat- och sårbarhetsutredningen*. SOU 2007:60, Stockholm.

SOU (2007b) *Översiktlig sårbarhetsanalys för översvämning, skred, ras och erosion i bebyggd miljö i ett framtida klimat*. Klimat- och sårbarhetsutredningen SOU 2007:60, bilaga B14.

Stensen, B., Andréasson, J., Bergström, S., Dahné, J., Eklund, D., German, J., Gustavsson, H., Hallberg, K., Martinsson, S., Nerheim, S. och Wern, L., 2010. *Regional klimatsammanställning – Stockholms län*. SMHI-rapport 2010-78

SWECLIM (2001) *Expertstöd i klimatfrågan, årsrapport*.

Van der Linden P., och J.F.B. Mitchell (eds.) (2009) *ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project*. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160pp.

Svensk Energi, Svenska Kraftnät och SveMin (2007) *Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar – Nyutgåva 2007*.

Vellinga, P., Katsman C.A., A. Sterl and J.J. Beersma, (eds) (2008) *Exploring high end climate change scenarios for flood protection of the Netherlands: - an international scientific assessment*. International Scientific Assessment. Background document to Deltacommissie (2008).

Hemsidor:

Lantmäteriet – Om referenssystem och höjdsystem.

http://www.lantmateriet.se/templates/LMV_Page.aspx?id=4210

OBS Radera ingenting efter denna rad – den tas bort allra sist.



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 NORRKÖPING
Tel 011-495 80 00 Fax 011-495 80 01